

## **CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DO MACIÇO GRANÍTICO DO LOCAL DA BARRAGEM PRINCIPAL DO BAIXO SABOR**

### **GEOTECHNICAL CHARACTERIZATION OF THE GRANITIC ROCK MASS FROM THE BAIXO SABOR MAIN DAM SITE**

Ferreira, Fernando - *Engenheiro Geólogo - Hidrorumo, Projecto e Gestão, SA*

Lima, Celso - *Engenheiro Civil - Hidrorumo, Projecto e Gestão, SA*

#### **RESUMO**

No Estudo Prévio do aproveitamento hidroeléctrico do Baixo Sabor foram consideradas três soluções estruturais alternativas para a barragem principal do escalão: abóbada de betão convencional, gravidade de betão compactado por cilindros (BCC) e aterro de enrocamento com cortina de betão a montante (CFRD). Apresentam-se os estudos geológicos e geotécnicos realizados para o maciço de fundação da barragem e para os materiais de construção. Estes estudos permitiram confirmar a viabilidade técnica de qualquer das alternativas e constituíram a base para a selecção do esquema ambientalmente e economicamente mais favorável.

#### **ABSTRACT**

In the Feasibility Study of the Baixo Sabor hydroelectric powerplant three structural alternative solutions for the main dam of the scheme have been considered: an arch dam with conventional concrete, a gravity dam with rolled compacted concrete (RCC) and a concrete faced rockfill dam (CFRD). The geological and geotechnical studies developed for the foundation rock mass and for the construction materials are presented here. These studies made it possible to confirm the technical feasibility of each alternative and were the basis to the choice of the best environmental and economical hydroelectric scheme.

#### **1 - INTRODUÇÃO**

O aproveitamento hidroeléctrico do Baixo Sabor, empreendimento que a CPPE - Companhia Portuguesa de Electricidade, SA se propõe vir a construir e explorar, tem como localização prevista o troço inferior do rio Sabor, afluente da margem direita do rio Douro, cuja foz se situa poucos quilómetros a jusante da barragem do Pocinho. Os estudos da concepção técnica do aproveitamento têm sido desenvolvidos pela Hidrorumo, Projecto e Gestão SA, empresa do Grupo EDP, que concluiu as fases relativas ao Plano Geral em 1996 e a de Estudo Prévio em 1998.

Concebido com o objectivo principal de produção de energia hidroeléctrica, o empreendimento deverá ser constituído por uma barragem de grande altura, superior à centena de metros, e uma outra barragem de menor altura, denominada de contra-embalse, que permitirá o funcionamento reversível dos grupos instalados na central localizada junto à barragem principal.

No decorrer do Estudo Prévio, foram analisadas duas localizações possíveis para a implantação da barragem principal e, para cada uma destas, realizaram-se estudos contemplando diferentes alternativas de solução estrutural de barragem. Nesta comunicação são referidos unicamente os trabalhos e estudos de caracterização geológica e geotécnica, desenvolvidos no âmbito do Estudo Prévio, para a implantação da barragem principal situada a cerca de 12,6 km de distância da confluência do rio Sabor com o Douro (Fig. 1).

Os estudos geológicos e geotécnicos desenvolvidos para este local tiveram como principal objectivo avaliar a possibilidade de construção de uma grande barragem, admitindo-se para esta soluções de aterro ou de betão. De entre as alternativas de barragem de aterro, face à inexistência de manchas de empréstimo de solos em qualidade e quantidade dentro da albufeira, apenas foram consideradas soluções de enrocamento. Quanto às alternativas de betão, as soluções estruturais de barragem foram a abóbada de betão convencional e gravidade de betão compactado com cilindro (BCC). Os estudos geológicos e geotécnicos foram conduzidos admitindo que o nível de pleno armazenamento (NPA) poderá situar-se, no máximo, à cota (250), a que corresponde uma altura máxima de barragem, acima da actual cota do leito do rio, de 128 m no caso da solução de enrocamento - coroamento à cota (255) - e 125 m nas soluções de betão - coroamento à cota (252).



Figura 1 - Localização do aproveitamento e bacia hidrográfica do rio Sabor.

## 2 – GEOLOGIA

O encaixe do vale do rio Sabor terá sido facilitado pela descida do nível de base na sua foz, com a consequente erosão remontante, e pelo alargamento lateral, por acção da escorrência e desmoronamento de massas rochosas. O troço do rio que intersecta a área em estudo tem aproximadamente 1000 m e alinhamento quase rectilíneo (Fig. 2), encontrando-se o fundo do vale próximo da cota (127), o qual tem forma ligeiramente achatado e largura máxima da ordem dos 40 m. As inclinações médias das vertentes dos locais de barragem podem atingir 40°.

Do ponto de vista litológico, no local da barragem predomina granito de duas micas, de grão médio a grosseiro e tendência porfiróide. O maciço granítico apresenta evidências de ter sofrido penetrações de soluções magmáticas e hidrotermais ao longo das fracturas, testemunhadas pelas frequentes vénulas aplito-pegmatíticas e de quartzo, responsáveis pela intensa sericitização da plagioclase, caulinizacão do feldspato potássico, cloritização da biotite e, localmente, pela intensa moscovitização do granito encaixante.

As famílias de diaclases e os veios de pegmatito e quartzo que compartimentam o maciço granítico são representadas nos estereogramas da Fig. 2. No local directamente interessado pela implantação de qualquer uma das soluções estruturais de barragem foi identificado um extenso e possante filão de quartzo, de geometria lenticular e com atitude N5°W-0°-20°E,56°-66°ESSE. De acordo com as observações de campo e com o enquadramento tectónico regional, ter-se-á instalado ao longo de uma fractura regional. No Quadro 1 representam-se as características gerais das principais fracturas identificadas cuja geometria, dimensão e localização pode condicionar o comportamento geomecânico e hidráulico do maciço de fundação da barragem seleccionada.

A informação obtida com o reconhecimento geológico de superfícies foi compilada à escala 1:500 e representada graficamente à escala 1:1000 (Fig. 2).

Quadro 1 - Características gerais das principais fracturas

Fractura n°	Natureza da fractura	Atitude	Espess. máx. observ. (m)	Natureza do enchimento
1	Filão	N 6°E,70°-90°W	0,50	qz.
2	Filão em Falha provável	N22°-36°W,62°-66°ENE	0,30	pegm. zonado
3	Filão	N20°-30°W, 60°-70°ENE	0,20	pegm. zonado
4	Filão em Falha provável	N15°-30°W,60°-70°ENE	0,20 - 0,25	pegm. zonado
5	Filão em Falha	N28°W,62°NNE	0,40 - 0,60	pegm. zonado
6	Filão	N60°-74°E,70°-75°SE	0,20 - 0,30	qz.
7	Falha	N54°-58°E,80°-90°NW	0,15	milonite
8	Filão	N50°-55°E,60°SE	0,20	qz.
9	Filão	N32°E,45°-50°ESE	0,10 - 0,30	qz.
10	Filão em Falha	N40°W,50°-60°NE	0,20 - 0,30	pegm. e milonite
11	Falha provável	N20°-40°E		milonite
12	Filão	N30°W,44°-58°ENE	0,10 - 0,30	qz.
13	Filão em Falha provável	N10°-14°W,44°-52°ENE	0,10 - 0,30	pegm. zonado
14	Filão	N10°-12°W,70°-75°ENE	0,20 - 0,30	pegm. zonado
15	Filão	N80°-90°E,80°-86°S	0,15 - 0,20	qz.
16	Filão	N34°W,76°ENE	0,10	pegm.
17	Filão	N44°E,68°70°SE	0,10	pegm.
18	Filão em Falha provável	N58°E,76°-82°SE	0,10	qz. e milonite
19	Falha provável	N40°-55°E,50°-57°SE	0,10	milonite
20	Filão	N52°-60°E,57°-64°SE	0,10 - 0,15	qz.
21	Filão	N60°E,86°SE	0,10	qz. e moscovite
22	Falha	N60°E,65°SE	0,20	milonite
23	Falha	N55°E,55°SE	0,05 - 0,10	milonite
24	Filão em Falha	N5°W-0°-20°E,56°-66°ESE	10 - 15	qz. e milonite
25	Filão	NW-SW,SE		qz.
26	Filão	N10°E,85°-90°E	0,10 - 0,20	qz.
27	Filão	N0°-10°E,80°W-90°-80°E	0,20	qz.

qz. – quartzo

pegm – pegmatito



#### 4 - TRABALHOS DE PROSPECÇÃO

Após o reconhecimento geológico-estrutural de superfície, efectuado pela Hidrorumo, procedeu-se à realização de campanhas de prospecção mecânica e geofísica nos dois locais previstos para implantação das diferentes soluções de barragem (Fig. 2).

##### 4.1 - Prospecção mecânica

###### a) Barragem

Os trabalhos iniciaram-se com a abertura de 13 trincheiras ( $L_{total}=2300$  m) e de 6 galerias ( $L_{total}=180$  m). No interior das galerias foram abertas câmaras para permitirem a realização, em subsequente fase de projecto, de ensaios de caracterização geotécnica *in situ* do maciço rochoso. Nas trincheiras e galerias efectuou-se a cartografia geológica e geotécnica de pormenor das superfícies escavadas. Com o objectivo de investigar as características do possante filão de quartzo existente na margem esquerda, escavou-se a trincheira TME7 e a galeria GE1 (Fig. 2 e 3). Complementarmente, realizaram-se 27 sondagens rotativas, tendo-se utilizado amostrador duplo que permitiu a recolha contínua de amostras ao longo de 1496 m de furação (TECNASOL-FGE, 1997). No interior dos furos de sondagem foram realizados 266 ensaios de injeção de água do tipo Lugeon, em troços consecutivos de 5 m. Utilizaram-se obturadores pneumáticos simples e, no geral, realizaram-se os seguintes patamares de pressão: 0,25-0,5-1,0-0,5-0,25 MPa.

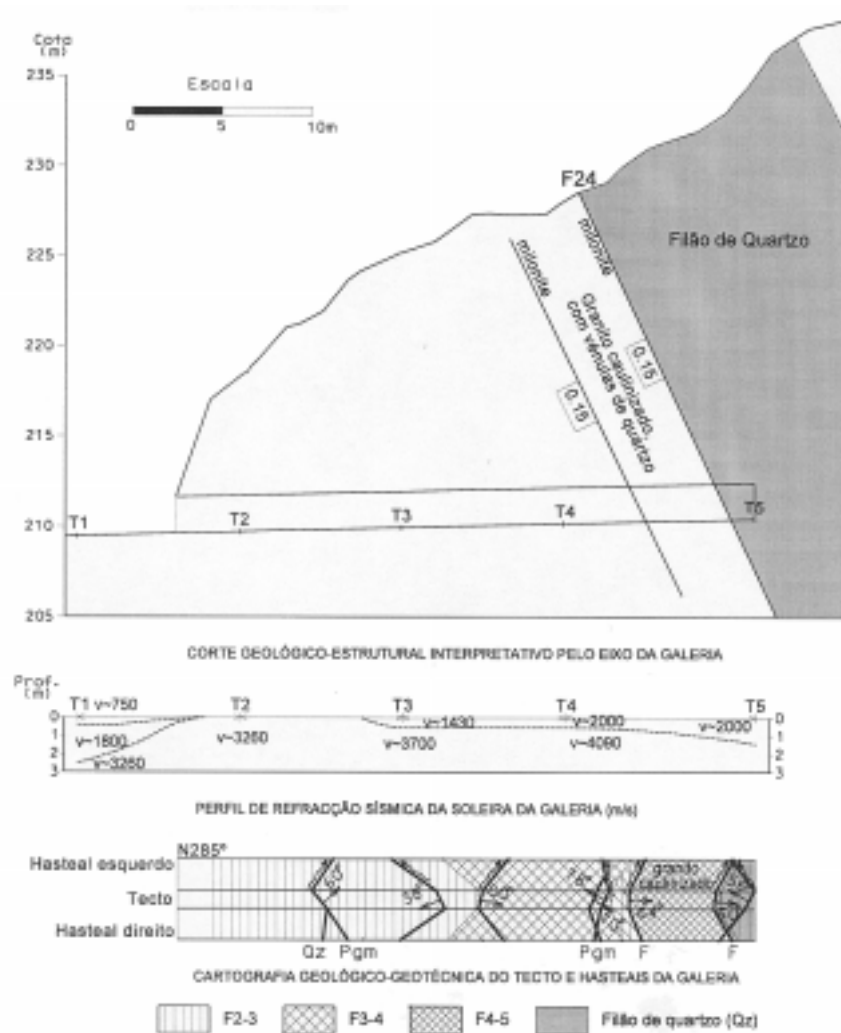


Figura 3 - Caracterização geológica, geofísica e geomecânica da galeria GE1.

De uma forma geral, verificou-se que a espessura de solos residuais é pouco significativa nas duas margens. Apesar de não haver diferença significativa entre a morfologia de ambas as vertentes, os horizontes de alteração da vertente direita são mais espessos que os da esquerda. Na margem esquerda, de uma forma geral, o maciço granítico apresenta-se superficialmente pouco alterado. No entanto, apesar da relativa homogeneidade em termos de qualidade geomecânica do maciço granítico desta margem, salienta-se a intensa alteração observada nas zonas vizinhas do possante filão de quartzo instalado na fractura 24.

A cartografia das galerias de reconhecimento permitiu caracterizar o maciço rochoso a cotas próximas das previstas para a fundação da solução abóbada, a mais exigente no que respeita às características mecânicas do maciço de fundação. De uma forma geral, verifica-se que o horizonte de meteorização é pouco profundo nas duas margens, podendo afirmar-se, numa primeira análise, que não se prevêem condicionantes de ordem geotécnica para implantação de uma barragem abóbada. Na margem esquerda, a abertura da galeria GE1 (Fig. 2 e 3) permitiu identificar uma zona com 5 m de extensão onde o maciço granítico, situado a muro da fractura 24, se encontra intensamente alterado e fracturado. As sondagens de reconhecimento revelaram acentuadas variações do grau de alteração e fracturação do maciço rochoso em profundidade que, de uma forma geral, são pontuais e dependentes da presença de filões de pegmatito e/ou falhas.

As famílias de diaclases que compartimentam o maciço rochoso são, no geral, rugosas a muito rugosas e planas a pouco onduladas. Nos níveis mais superficiais é nítida a presença de óxidos e hidróxidos de ferro, bem como o preenchimento das discontinuidades com saibro e argila (caulino). Estes preenchimentos tendem a desaparecer em profundidade, embora nas zonas mais tectonizadas e na vizinhança de filões, onde a percolação da água é mais intensa, se observe a ocorrência de colmatção das discontinuidades com material proveniente da desagregação da rocha. As diaclases com atitude subhorizontal, mais frequentes na margem direita, são pouco extensas, onduladas e sugerem ter sido originadas por fenómenos de descompressão do maciço rochoso.

#### b) Materiais naturais de construção

Para a identificação e caracterização de manchas de empréstimo de material rochoso para inertes de betão e para enrocamento, foram realizadas 7 sondagens à rotação em áreas dentro da albufeira e que totalizaram 215 m de furação. A recolha contínua de amostras permitiu a realização de diversos ensaios de caracterização laboratorial que avalizaram a qualidade do material potencialmente explorável. A delimitação das manchas de empréstimo com maior interesse teve em consideração a cota máxima prevista para o NPA, tendo-se identificado uma área de possível exploração de pedreira a cerca de 800 m de distância do local da barragem.

No sentido de identificar e caracterizar manchas de empréstimo de solos para construção de núcleos de obras de aterro, foram realizados 13 poços que permitiram a inspecção visual dos depósitos coluvionares e de terraço fluvial que ocorrem dentro da albufeira, a 3000 m de distância máxima do local da barragem, e que apresentam maiores potencialidades para sua utilização como material natural de construção. Em amostras recolhidas a diferentes profundidades, foram efectuados ensaios de determinação de propriedades índice, de identificação (granulometria e limites de consistência), de compactação e de permeabilidade.

#### 4.2 - Prospecção geofísica

Numa primeira fase, realizou-se uma campanha de prospecção geofísica por métodos sísmicos de refração (LNEC, 1997), da qual resultaram 12 secções interpretativas segundo os alinhamentos das trincheiras. Desta forma, foi possível obter o zonamento sísmico de superfície ao longo destas e a delimitação da geometria dos refractores sísmicos em profundidade para cada um dos cortes longitudinais das barragens em estudo.

Posteriormente (LNEC, 1998), foram realizados diversos ensaios sísmicos, como meio de prospecção complementar, com o objectivo de zonar em profundidade o maciço de fundação em termos de velocidade de propagação das ondas sísmicas longitudinais. Esses ensaios, que permitiram indirectamente avaliar a qualidade geomecânica do maciço granítico, consistiram na realização de 6 perfis de refração na soleira de cada uma das galerias, 6 leques sísmicos entre furos de sondagem e galerias, 16 leques sísmicos entre furos e trincheiras e 16 leques sísmicos entre furos.

Confirmando a ideia de que as principais estruturas geológicas, à excepção da fractura 24 (Fig. 2 e 3), provocam uma ligeira e pontual degradação da qualidade geomecânica do maciço rochoso encaixante, de uma forma geral a informação obtida dos estudos geofísicos é concordante com o deduzido do reconhecimento de superfície e da prospecção mecânica. No que respeita ao filão de quartzo instalado na fractura 24, o estudo com base na prospecção geofísica não foi conclusivo quanto à qualidade geomecânica do maciço rochoso caulinizado e fracturado a muro, havendo situações de aparente discordância entre as condições geotécnicas observadas *in situ* e os valores das velocidades de propagação, geralmente mais elevados que o esperado.

Em conformidade com o observado nas galerias de reconhecimento, a prospecção geofísica permitiu concluir que, para cada margem, a relativa heterogeneidade do perfil de meteorização se dissipa em profundidade, embora seja mais profundo e notório na margem direita. Nesta margem, salientam-se as frequentes variações laterais e verticais das velocidades de propagação das ondas sísmicas longitudinais. Genericamente, os resultados da prospecção geofísica efectuados na margem esquerda evidenciaram a presença de horizontes sísmicos de elevadas velocidades de propagação das ondas sísmicas longitudinais.

Os resultados obtidos com a realização dos leques sísmicos conduziram à definição de várias secções interpretativas, que no seu conjunto permitiram o zonamento do maciço rochoso em termos de velocidade de propagação das ondas sísmicas longitudinais.

De uma forma geral, os leques sísmicos entre os furos da margem esquerda revelaram, em profundidade, um maciço relativamente homogéneo com velocidades superiores a 4000 m/s. Na margem direita, exceptuando os horizontes superficiais mais alterados e fracturados, o zonamento permitiu concluir que o maciço investigado se apresenta mais heterogéneo, com valores de  $V_L$  entre 3000 e 4000 m/s até profundidades da ordem dos 25 m. Os modelos obtidos com a realização de leques sísmicos entre os furos e as galerias evidenciam, à semelhança dos outros estudos, a influência da zona superficial do maciço rochoso, mais descomprimida e alterada, nos valores das velocidade de propagação.

## 5 - ZONAMENTO GEOMECÂNICO DO MACIÇO GRANÍTICO

A análise das condições geológicas locais e a classificação das amostras de sondagens, nomeadamente quanto aos seus estados de alteração e fracturação e à percentagem de recuperação modificada (RQD), permitiram estabelecer três zonas geomecânicas para o maciço granítico (Quadro 2).

Quadro 2 - Zonamento geomecânico do maciço granítico

ZONA	Alteração (ISRM)	Fracturação (ISRM)	RQD (%)
ZG3	W <sub>3</sub> a W <sub>5</sub>	F <sub>3</sub> a F <sub>5</sub>	< 50
ZG2	W <sub>3</sub>	F <sub>2</sub> a F <sub>3</sub>	50-90
ZG1	W <sub>1-2</sub>	F <sub>1</sub> a F <sub>3</sub>	> 90

Da análise dos cortes interpretativos da Fig. 4, pode concluir-se que:

- Na solução abóbada, a espessura da zona ZG3 é, no geral, superior na margem direita, com valores que variam entre 5 e 13 m. Na margem esquerda e fundo do vale as espessuras desta zona

são, regra geral, inferiores a 6 m. Na solução enrocamento, esta zona geotécnica tem espessura de 6-13 m na margem direita e inferior a 5 m na margem esquerda e fundo do vale. Na solução gravidade de BCC, esta zona apresenta espessura inferior a 8 m na margem direita, enquanto na margem esquerda e fundo do vale é inferior a 6 m.

- Na solução abóbada, a profundidade de ocorrência da interface entre a zona ZG2 e ZG1 é da ordem dos 17-25 m na margem direita, 5-19 m na margem esquerda e 16-20 m no fundo do vale. Na margem direita da solução gravidade de BCC, a referida interface apresenta profundidade variável entre 6 e 20 m, esta última a cotas próximas do rio, enquanto no fundo do vale esta zona tem profundidade de 12-17 m e na margem esquerda 6-13m

## 6 - ZONAMENTO HIDRÁULICO DO MACIÇO GRANÍTICO

Do ponto de vista hidrogeológico, o maciço granítico origina redes aquíferas descontínuas cujas densidade e abertura diminuem em profundidade. A um nível superficial, os solos residuais de cobertura, pouco espessos, e o maciço granítico intensamente meteorizado são caracterizados por uma permeabilidade em pequeno, típica dos meios porosos. Dada a sua natureza superficial, não confinada e de recarga exclusivamente pluviométrica, encontram-se bastante condicionados por efeitos climáticos sazonais e possuem pouca importância. Subjacente, o maciço rochoso, menos alterado e algo fracturado, caracteriza-se por uma permeabilidade em grande, típica dos meios fissurados, e relativa baixa produtividade aquífera, podendo considerar-se intrinsecamente impermeável.

As estruturas filonianas, pela sua extensão e possança, constituem meios preferencias para a percolação da água. De uma forma geral, por se desenvolverem longitudinalmente segundo o eixo do rio, estas estruturas possuem alinhamento desfavorável à estanqueidade da albufeira. O filão de quartzo da fractura 24 encontra-se, conforme já foi referido, com o encosto granítico bastante alterado a muro. Apesar de se esperarem caudais de percolação importantes ao longo do contacto filão/granito, eles serão de algum modo diminuídos pela caulnização do granito encaixante.

Foram analisados os resultados dos ensaios de injeção de água de forma diferenciada para cada uma das margens e para o fundo do vale. No Quadro 3 encontra-se sintetizada essa análise sob a forma de percentagem de ocorrência dos diferentes regimes de escoamento e de tendência das fracturas, podendo concluir-se:

- No geral, predomina a tendência para o aumento da secção de escoamento com o incremento da pressão de injeção e os casos de absorção nula foram frequentes. A representatividade global dos casos de percolação segundo fracturas pouco abertas, colmatagem e absorção nula é da ordem dos 46%, enquanto o somatório dos casos de aumento de secção, de fracturas limpas/abertas e de vazão total é de cerca 35%.
- Na margem esquerda, até aos 30 m e a partir dos 60 m de profundidade predomina a tendência para o aumento da secção das fracturas. A partir dos 35 m o maciço rochoso apresenta-se pouco permeável, conforme se depreende do predomínio de casos de absorção nula. Nos ensaios de injeção de água realizados nos furos de sondagem SE9 e SE2, 80% dos resultados correspondem a absorções nulas.
- Na margem direita predomina o regime de escoamento laminar até aos 20 m e entre os 30 e 50 m de profundidade. A tendência das fracturas em aumentar de secção durante os ensaios de injeção de água domina entre os 20-30 m e os 50-70 m de profundidade.
- No fundo do vale há um claro domínio de casos que indiciam tendência das fracturas em aumentar de secção com o incremento da pressão de injeção de água. Os casos de absorção nula encontram-se praticamente limitadas à sondagem SE6, com cerca de 70% de casos.



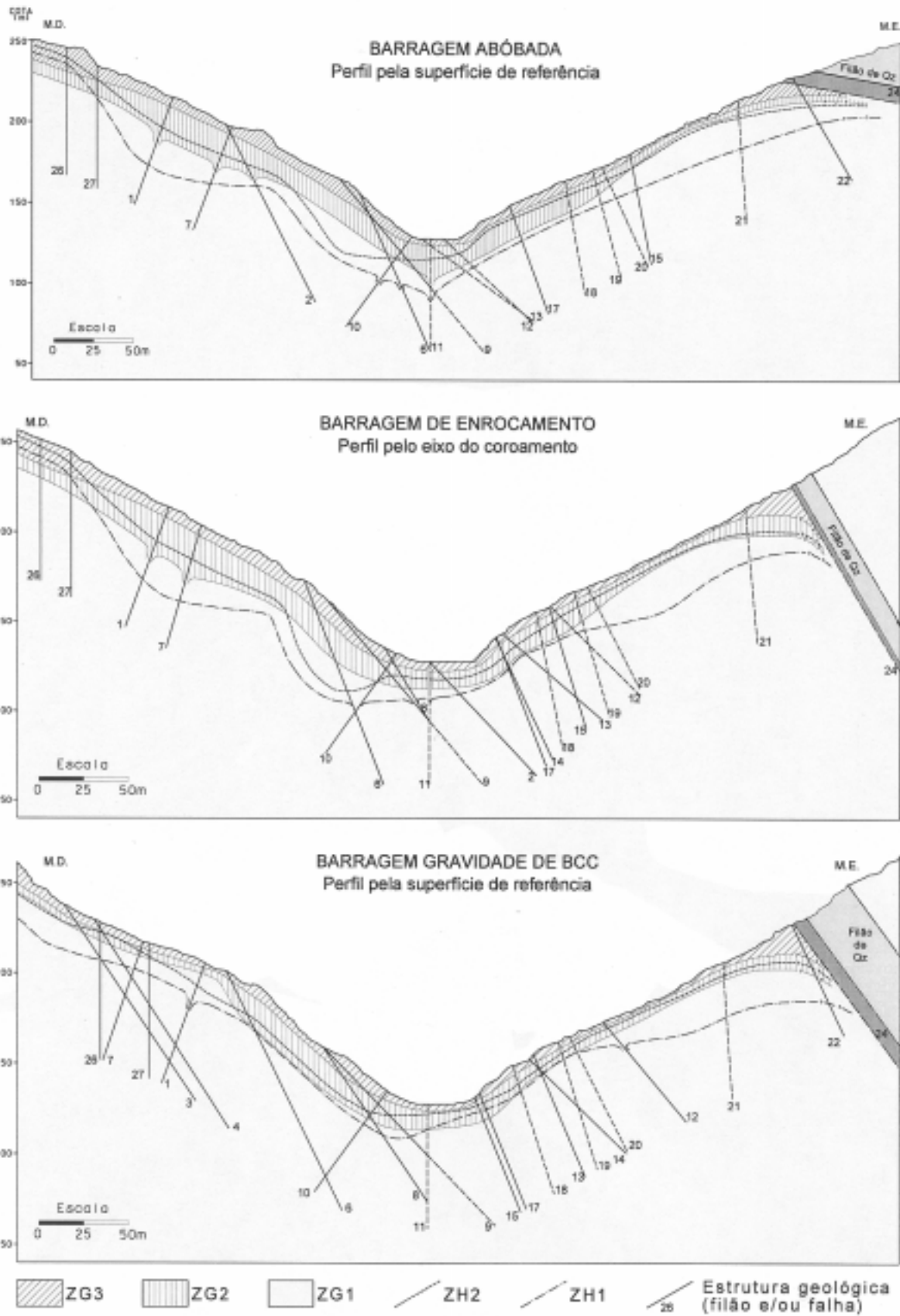


Figura 4 - Corte geológico com representação dos zonamentos geomecânico e hidráulico do maciço de fundação de cada uma das soluções estruturais de barragem.

Quadro 3 - Regime de escoamento e tendência das fracturas

Regime de escoamento e tendência das fracturas	% de casos registados			
	TOTAL	M. Esquerda	M. Direita	Fundo do Vale
Laminar	21	17	25	19
Turbulento	5	4	8	—
Intermédio	13	14	16	2
Abertura da secção de escoamento	29	22	23	56
Diminuição da secção de escoamento	7	9	9	—
Absorção nula	18	26	10	23
Vazão total	1	1	2	—
Anormal	6	7	7	—

No Quadro 4 apresentam-se os critérios estabelecidos para a definição do zonamento hidráulico do maciço rochoso de fundação. No mesmo quadro é incluída a análise estatística dos valores de absorção de água, em Unidades Lugeon, obtidos com os ensaios de injeção de água.

Quadro 4 - Zonamento hidráulico do maciço granítico

Zona	Permeabilidade (UL)	% de ensaios característicos			
		Total	M. Direita	Leito do rio	M. Esquerda
ZH3	> 4	17	12	20	21
ZH2	2 a 4	21	24	17	23
ZH1	< 2	62	64	63	56

Nos cortes interpretativos da Fig. 4, desenhados segundo os perfis definidos ao longo das superfícies de referência das soluções abóbada e gravidade e do eixo do coroamento da solução abóbada, pode observar-se a geometria geral das curvas que delimitam o zonamento hidráulico.

## 7 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ponderadas as soluções em análise, e atendendo às características gerais da fundação e à natureza dos materiais disponíveis nas proximidades, verifica-se que qualquer das soluções estruturais de barragem pode ser implantada no local estudado.

A escavação prevista para a fundação da barragem abóbada deverá interessar a base da zona geotécnica ZG2 ou o topo da ZG1. A ocorrência de um importante filão de quartzo, de âmbito regional e que se encontra instalado na fractura 24, condicionou a implantação da solução abóbada. Na zona de fundação que interessa o maciço granítico a muro desta estrutura geológica, poderá justificar-se o aumento da profundidade de escavação.

Para a solução de enrocamento, prevê-se que para se conseguir fundação adequada seja suficiente o saneamento superficial da ordem dos 2 a 3 m, embora localmente possa ser superior para regularização das cotas de fundação. O elemento estrutural que requer melhor comportamento geotécnico, por parte do maciço granítico de fundação, é o plinto de montante. Para esse elemento, será conveniente estabelecer a fundação no topo da zona geotécnica ZG2.

O monolitismo da solução gravidade de BCC, decorrente da inexistência de juntas de contracção, ou do seu reduzido número, pode conduzir a fissurações importantes perante comportamento mecânico diferencial por parte da fundação. Desta forma, no intuito de evitar situações desta natureza, a escavação prevista para a fundação desta barragem deverá interessar a zona geotécnica ZG2. À semelhança do referido para a solução abóbada, a presença do importante filão de quartzo da margem

esquerda poderá justificar o aumento da profundidade de escavação para fundação do encontro da barragem.

No sentido de garantir o adequado comportamento hidráulico da fundação de qualquer das soluções estruturais de barragem estudadas, considera-se necessária a realização de uma cortina de impermeabilização, através de injeções de cimento, localizada sob o plinto de montante da barragem de enrocamento ou sob as galerias de drenagem das barragens abóbada e gravidade de BCC. Os furos dessa cortina deverão ser orientados em função das características geológico-estruturais do maciço granítico e ter comprimento que, no mínimo, lhes permita ultrapassar a curva de 2 UL.

De forma a precaver a ocorrência de fenómenos de assentamento diferencial por parte das fundações das barragens abóbada e gravidade em BCC, as condições locais justificam a realização de um tratamento de consolidação, através de injeções de cimento, cuja profundidade deverá ser ajustada aos valores dos incrementos de tensão induzidos na fundação pela superestrutura. A extensão e geometria geral desse tratamento apenas poderão ser definidos na sequência dos estudos técnicos que vierem a ser realizados no âmbito de posteriores fases do projecto.

No que respeita aos materiais naturais de construção, concluiu-se pela existência de material rochoso em quantidade e qualidade para construção de qualquer uma das soluções alternativas de barragem. Para obras de aterro, os trabalhos realizados permitiram a identificação de materiais com potencial interesse para a constituição de núcleos impermeáveis. No entanto, os reservas disponíveis apenas permitem considerar a sua utilização na construção de ensecadeiras para o desvio provisório do rio.

## BIBLIOGRAFIA

Hidrorumo (1998) - Estudo Prévio do Aproveitamento Hidroeléctrico do Baixo Sabor. Porto.

LNEC (1998) - Prospecção sísmica complementar no local do Escalão Principal do Aproveitamento Hidroeléctrico do Baixo Sabor. Lisboa.

LNEC (1997) - Prospecção geofísica no local do Aproveitamento Hidroeléctrico do Baixo Sabor. Lisboa.

Mendes, A. S. (1971) - Seismic zoning map of Portugal. XII Assemblé Generale de la Commission Seismologique Européene. Luxembourg.

Oliveira, C.S.(1977) - Sismologia, sismicidade e risco sísmico. Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

Serviços Geológicos de Portugal (1995) - Carta neotectónica de Portugal.

Serviços Geológicos de Portugal. (1989) - Carta geológica de Portugal; Folha 11-C (Torre de Moncorvo).

TECNASOL-FGE (1997) - Relatório da prospecção geológico-geotécnica no local do Escalão Principal. Venda Nova.

Wells, D. L. e Coppersmith, K. J. (1994) - New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture area and surface displacement. Seis. Soc. Am. Bull.